葉綠素測計在氮肥管理上之應用

＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊ ◎農試所農藝組　楊純明

氮素是影響水稻生產最主要的營養元素之一，欲獲得令人滿意的產量與品質，控制適當的氮肥施用是必需的，包括施用時期、施用量與施用方法均需合宜。由於作物植體氮素狀態與葉綠素的關係密切，經由葉綠素的量測可以估測氮素狀態，提供氮肥管理依據。量測葉綠素的方法有多種，其中利用葉綠素測計(chlorophyll meter or chlorophyll fluorescence meter)讀取測值，再經檢量線估算出葉綠素含量，是一種便捷而快速的量測方式。本文將簡介與說明葉綠素測計在氮肥管理上之應用，作爲試驗研究人員和一般農業生產者之使用參考。

一、前　　言

農作物的生產需要許多資源，如光照、溫度、水分、空氣及營養元素等，其中營養元素除來自土壤原有的成分之外，尚可藉由施肥來增補農作物生育之需。以水稻而言，氮素對水稻增產之效應超過其他營養元素的增補作用，然而水田氮肥之管理頗具挑戰性，因爲氮素在浸潤的水田中有若干流失途徑。其中占稻田最大比例的氮素逸失，屬於細菌性將硝酸鹽(NO_3^-)轉換爲氮氣(N_2)之過程，在自然狀況隨時發生。由於土壤中的氮素將因稻株的吸收利用及其他因素流失，因此需要視狀況添補氮肥，提供稻株生育過程的需求。

稻農對氮肥管理之最高理想，係投入適量的氮，一方面足供生育所需，另方面又不至於過量而造成污染及浪費。過量的氮肥亦可能加重病蟲害，延緩成熟期，並促進植株倒伏。同時，當氮肥施用量大幅超過推薦量時，可能反遭致減產結果，過猶不及。因此，可靠而快速的氮素狀態評估方法有其必要與重要性，據以迅捷的檢測土壤及稻株內的氮素狀態，施予因應處理而維繫穩定生產。

爲降低水稻生育過程中氮素的流失，常以氮肥分施的方式來降低流量，尤以尿素肥料最常使用。即依照稻株生育各階段對氮素的需求，分別施用不等量的氮肥，以供應稻株各時期生育所需，如此可以減少多餘的氮肥被分解釋放或無謂流失。在生育前期，稻株需要氮肥來刺激分蘗，供應生長需求；到了生育後期，則需要氮肥作爲穀粒蛋白質基質，提補穀粒充實所需。氮肥之分施次數及其用量，端視栽培方法、栽植環境和生產質量等主客觀條件來決定。

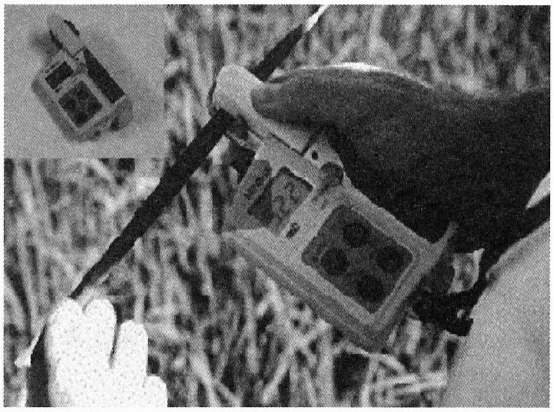
作者：楊副研究員純明
聯絡電話：04-23302301轉135

另一方面，一致式或包裹式的肥料推薦於廣大田區面積之傳統施肥方式，其效率對現代化農業是不足以令人滿意的。因爲同一塊田區的土壤肥力並非均一，尙且各地的土壤質地與營養元素狀態變異甚大，齊頭式的施肥並不能符合特定地點農作物植株對肥料的需求，將造成植株之間生長參差不齊甚或產量普遍差異。因此，不同田區，乃至於不同特定地點，所需要施用的肥料可能均非固定，必須因地制宜施予特定營養元素及特定量。決定因素在於當地土壤原有的土壤元素狀態及農作物的需求，後者又依生育階段和環境狀況而異，環境效應則同時受到生物性與非生物性因子交感影響。就氮肥言之，假若農民能夠依照實際作物狀況及對營養的需求施用，將有非常大的益處，如降低投入成本、減少非點源污染及增加生產收益。

二、葉綠素測計

葉綠素測計爲一攜帶式輕巧葉綠素測計，最早由跨國儀器製造商Minolta Camera Company之土壤暨植物分析研發小組(Soil-Plant Analyses Development unit，SPAD)所開發出來，利用於估測植體葉綠素含量，亦以SPAD作爲產品代號（圖一）。目前常用機型爲SPAD-502，可量測樣品之點測值，並可計算多點平均值。此一測計原理乃量測穿透葉片之光輻射，由經樣品吸收後的光輻射量，反饋估算葉片中葉綠素量。由測計兩臂夾住葉片樣區，一臂爲具有放射光輻射二極體之光源端，另一臂爲具有矽質光極體之受光端，由入射光源輻射量與穿透過葉片後光輻射量之差值，經內建檢量線換算測計讀值。簡言之，可視爲量測植體之綠度(綠色強度，green color intensity)，或稱葉綠素的相對含量。

測計由2個AA電池(鹼性)提供能源操作，二測值之間約需間隔2秒以上。光源端內有兩個放射光輻射之二極體，分別設定在430 nm及750 nm波長位置（或650 nm及940 nm波長位置），其中430 nm爲葉綠素a與葉綠素b之最大吸收比，750 nm則幾乎完全被反射而不穿透。測計讀值再與此葉片之化學分析葉綠素濃度建立相關，得到回歸程式(模式或檢量線)，作爲未來樣品讀值估測用途。

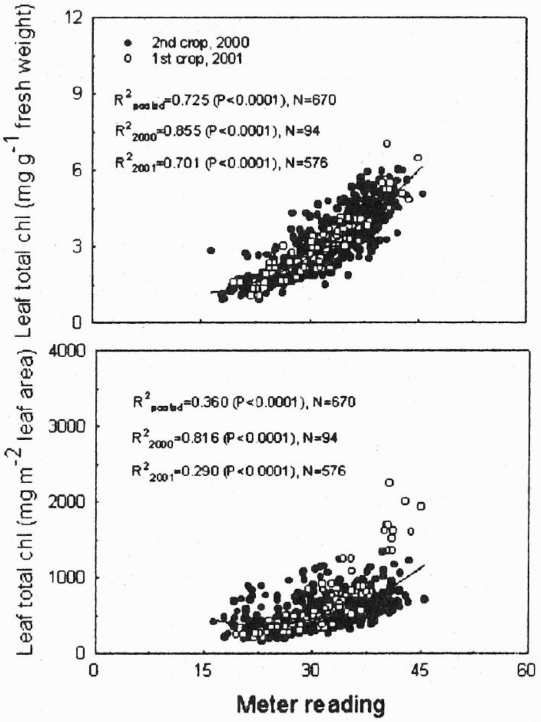


圖一、葉綠素測計外型輕巧，便於攜帶

葉綠素是一般綠色植物的主要色素，其功能在於擷取太陽光能提供光合作用運轉，使得光能可以轉換成化學能。氮素係葉綠素分子之關鍵元素，因此葉綠素含量的高低反映氮素含量的多寡，兩者相關性甚高。於是，可利用葉綠素測計透過葉綠素與氮素之關係，達到間接而合理的估測植體氮素狀態之目的。若逕自將葉綠素測計讀值與葉片氮素(重量爲基礎)進行相關分析，仍可獲得高

直線關係，惟兩者關係隨著生育期及品種(系)略異，最主要係葉片厚度或葉片比重(specific leaf weight)改變所致。Peng et al. (1995)之研究指出，稻株生育期間之單位葉面積氮素濃度與葉綠素測計讀值呈特定直線相關，不因生育時期有顯著差異。

葉綠素測計的使用方法極爲簡易，可立即而快速的獲得非破壞性測值，取得大量且準確的測點數據，因此葉綠素測計爲一獲取田區大量非破壞性作物葉綠素狀態資料的理想工具。由前述說明，可推知在應用葉綠素測計之前，先要建立檢量線，即葉綠素量與測值之關係曲線(圖二)。而在使用測計時，亦需校正測計本身，確定測值範圍，再讀取



圖二、水稻臺農67號品種之葉片葉綠素總量與葉綠素測計讀值之關係。

樣品測值。一塊田區適當的量測點數不一而足，視對空間變異的精密度要求而定，惟各測點應具代表性；以美國之大田區爲例，至少每2英畝讀取1點。影響測值之原因甚多，凡能改變稻株顏色的因子(如生育期、光源質量、栽植密度、病蟲害、營養元素缺乏、基因組成等)，就可能左右測計讀值。因此，量測人員應熟知干擾因子的影響，預先排除或迴避。在固定時段(介於10:00-16:00)選擇相同年齡及部位之葉片樣品，且應避開病斑、褐斑或老斑，以免造成誤差。品種(系)之間的顏色差異受到遺傳組成控制，縱使施用相同氮肥量，品種間色澤仍可能有別。所以，各品種宜建立其特定的檢量線，個別判識其葉綠素含量。

由圖二所示，對水稻臺農67號品種而言，植株年齡似未顯著改變葉綠素總量(total chlorophyll)-SPAD讀值之迴歸關係。所以不同生育期之同一期作稻株葉綠素，可合併建立迴歸模式，適用於生育期間內任一時間估測。不同期作之葉綠素總量-SPAD讀值之迴歸關係差異較大，若非要求高準確度，仍可合併分析作合理的葉綠素估測。由葉綠素的估測及進一步氮素的推算，吾人將可以追蹤即時的作物植體氮素狀態，更可以決定出施用氮肥的最佳時機，於是達到滿足作物需求的適量氮肥施用。

三、利用葉綠素測計於氮肥之管理

如前述，水稻生育過程中可能發生氮素流失現象，因此氮肥分施是氮肥管理常用的方法之一。由於氮肥之分施次數及各別用量，隨著栽培方法、栽植環境和生產質量而異，必須同時考量諸多主客觀條件。爲化繁

爲簡，常以植體氮素狀態的量測或估測，來評估當時土壤氮素的可利用量及植體的需要量，再行追肥的規畫。傳統植體氮素的量測方法爲化學分析法(如Kjeldahl 法)，由植體取樣的化學分析結果，瞭解其氮素濃度及含量。此種化學分析方法準確度高，惜耗時費力，不易在短時間內獲得大量樣品之分析結果，造成緩不濟急之憾。因此，葉綠素測計之可靠而快速的特色，正好符合大量檢測的需求性，可作爲即時氮肥管理之應用。

以水稻爲例，在生育前段之分蘗期，稻株需要氮肥(素)來刺激分蘗，此時期的氮素由基肥所供應。到了抽穗前期即爲常行追肥之時期，此時土壤之基肥存量已近消耗殆盡，通常選擇幼穗分化至抽穗之間的所謂穗形成期(panicle formation)施用。此時所施用之氮肥追肥，將可提供隨後莖節快速伸長將穗軸推出劍葉而稱抽穗(heading)，以及著生於穗軸上小穗花形成之穀粒充實所需氮素基質。葉綠素測計可在此時發揮功用，由葉片之葉綠素含量估測植體氮素狀態及應追施之氮肥用量。

以葉綠素測計進行量測時，宜選取新近完全展開之葉片，避開老葉、未成熟葉及可疑斑點。在此之前，吾人首先必須釐清該作物品種葉綠素含量與氮素含量之相關，建立關係模式。由相同植株的同一葉片同時取得葉綠素測計的讀值及取樣化學分析之葉綠素(如Arnon, 1949)與氮素含量，才能得到直接而眞實的相關，做出正確的連結及估算。接著究明施用追肥之穗形成期植體氮素高低和產量之關係，找出高產之臨界氮素含量，以此爲標準換算氮肥用量。再由葉綠素測值輾轉估算氮素狀態及氮肥的追肥施用量，於穗形成期適法適量的實施。因此，光憑葉綠素的量測是不足以獲知氮肥的施用量，尙需澄清植體氮素狀態與產量之關係，才能瞭解是否施行追肥措施及施用量。前述影響葉綠素測計讀值之因素，如光照、行株距、逆境與災害、株齡、品種別及土壤養分等，其效應亦需加以釐清與校正，才能計算出精確用量。例如，在較高栽植密度之小行株距情況，臨界SPAD讀值(或葉片葉綠素、葉片氮素測值)通常低於較低栽植密度之大行株距者，需要施用較高氮肥追肥，因密植之稻株植體內氮素濃度較低。

四、結　　語

雖然葉綠素測計的使用方法簡淺易行，可以立即而快速的非破壞檢測葉綠素濃度或含量，取得大量測値。對於研究或訓練課程均適用，可適合研究人員、推廣專家、及作物技術諮詢顧問等不同層次之使用，釐清土壤-作物-灌溉水之三合一系統氮素動態。農藝專家可據以究明新品種之氮素需求而研擬氮肥推薦量，育種專家可利用於區劃分離品系之氮素使用效率，生物技術專家可應用於篩檢高氮素使用效率品系以分離出對應作用基因，而推廣專家可以此工具驗證現行氮肥推薦量並予微調，技術諮詢顧問則可以此提供氮肥施用量。然而前述葉綠素含量與氮素含量之相關，施用追肥時期之植體氮素狀態和產量關係，均需進行試驗研究獲得明確結果。此一前置資訊必須完整建立，才能逐步取得追肥施用量，達到合理之氮肥管理目的。再者，葉綠素測計本身之校正，實施之技巧，以及人爲誤差之排除，各環節都將影響量測結果，不可不愼。

五、引用文獻

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidedase in Beta vulgaris. Plant siol. 24:1-15.

Balasubramanian, V., A. C. Morale, and R. T. Cruz. 1998 Chlorophyll meter threshold values for N management in direct wet-seeded, irrigated rice. Paper presented at the National CREMNET Workshop-cum-Group Meeting, Directorate of Rice Research (DRR), 7-9 Jan 1998 Hyderabad, India.

Balasubramanian, V., A. C. Morales, R. T. Cruz, and S. Abdulrachman. 1999. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53:93-101.

Dingkuhn, M., H. F. Schnier, S. K. De Datta, K. Dorffing, and C. Javellana. 1991. Relationships between ripening-phase productivity and crop canopy photosynthesis, and senescence in transplanted and direct-seeded lowland rice. Field Crops Res. 26:327-345.

Dobermann, A. and P. F. White. 1999. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53:1-18.

Inada, K. 1963. Studies on a method for determining deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical applications. 1. Principle for estimating the deepness of green color and chlorophyll content of whole leaves. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 32:157-162.

Inada, K. 1985. Spectral ratio of reflectance for estimating chlorophyll content of leaf Jpn. J. Crop Sci. 54:261-265.

Kariya, K., A. Matsuzaki, and H. Machida. 1982. Distribution of chlorophyll content in leaf blade of rice plant. Jpn. J. Crop Sci. 51:134-135.

Olk, D. C., K. G. Cassman, G. Simbahan, P. C. Sta. Cruz, S. Abdulrachman, R. Nagarajan, P. S. Tan, and S. Satawathananont. 1999. Iterpreting fertilizer use efficiency in relation to soil nutrient-supplying capacity, factor productivity, and agronomic efficiency. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53:35-41.

Peng, S., R. C. Laza, F. V. Garcia and K. G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf-based nitrogen concentration of rice. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 26:927-935.

Peng, S., F. V. Garcia, R. C. Laza, A. L. Sanico, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorphyll meter on high-ielding irrigated rice. Field Crops Res. 47:243-252.

Peterson, T. A., T. M. Blackmer, D. D. Francis, and J. S. Scheppers. 1993. Using a chlorophyll meter to improve N management. A Webguide in Soil Resource Management: D-13, Fertility. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, USA.

Turner, F. T. and M. F. Jund. 1994. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter method. Aust. J. Exp. Agric. 34:1001-1005.

Wood, C.W., D. W. Reeves, R. R. Duffield, and K. L. Edmisten. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. J. Plant Nutri. 15(4):487-500.